

유동 초고압 공정을 이용한 딸기 주스의 미생물 안정성 향상 및 품질보존

원진성 · 김명환¹ · 한귀정² · 노봉수 · 민세철*

서울여자대학교 식품공학과, ¹단국대학교 식품공학과, ²농촌진흥청 국립농업과학원 농식품자원부

Preservation of Strawberry Juice by Dynamic High-Pressure Processing

Jin Seong Won, Myung Hwan Kim¹, Gwi Jung Han², Bong Soo Noh, and Sea Cheol Min*

Department of Food Science and Technology, Seoul Women's University

¹Department of Food Engineering, Dankook University

²National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration

Abstract Effects of dynamic high-pressure (DHP) treatments on microbial stability, vitamin C concentration, color, sugar content, color, and pH of strawberry juice were studied and compared with those of the conventional thermal treatment. Freshly prepared strawberry juice was thermally treated at 110°C for 1 min or treated by DHP at 205 MPa and 20, 50, 60, or 70°C. The thermal treatment and the DHP treatments, both with and without integration with heating at 70°C, reduced the number of indigenous aerobic microorganisms by >6 log CFU/mL. Vitamin C concentration, color, and sugar content were higher in the DHP-treated juice than in the thermally treated juice, regardless of integration with heating. Compared to the thermal treatment, DHP treatments resulted in longer color retention and higher sugar contents in strawberry juice stored at 4°C for 63 days. These results have demonstrated the potential use of DHP as a novel method for pasteurizing strawberry juice.

Keywords: non-thermal process, dynamic high-pressure treatment, strawberry juice, pasteurization, preservation

서 론

식품의 기능성과 안전성이 소비자들의 식품소비에 큰 영향을 끼치면서 다양한 과일주스에 관한 수요가 증가하고 있다(1). 다양한 과일주스 중 특히 건강에 이로운 활성 성분들의 손실이 최소화된 신선 주스에 대한 소비자들의 관심이 높다(2). 딸기는 비타민 C, 칼륨, 엽산, 안토시아닌, 가수분해성 탄닌, 그리고 페놀산 등을 함유하고 있어 피로회복과 항산화에 도움을 주고 면역력을 증강 시키는 것으로 알려졌다(3). 하지만 딸기는 외부의 물리적 충격에 취약하여 부패의 가능성이 크고 품질유지기한이 비교적 짧은 단점이 있다(4). 상품성이 낮아진 딸기들은 주로 잼, 주스, 청 등의 재료로 사용 되는데(3,4), 이 중 주스는 편리 지향성 소비습관을 가진 바쁜 현대인들에게 간편하게 섭취할 수 있는 좋은 영양 공급원이 될 수 있다(5,6).

단순한 세척만으로는 딸기 표면에 부착된 미생물을 제거하기 어렵기 때문에(7,8), 딸기를 재료로 한 딸기 주스는 미생물에 의해 부패되기 쉽다. 주스의 미생물 안정성을 향상하기 위해 기존의 가열처리 공정이 사용되고 있으나 기존의 가열처리 공정은 식품이 가진 향과 비타민 등을 감소시키고(9,10), 식품 고유의 색도

등을 변화시킬 수 있기 때문에(11) 기존의 가열공정이 가지고 있던 문제점을 보완하면서 딸기 주스의 보존성을 높이는 새로운 기술의 개발이 요구되고 있다.

최근에 주목 받고 있는 비열처리 공정 중 하나인 dynamic high pressure (DHP, 유동 초고압) 공정은 액상 식품의 영양과 맛을 신선한 상태와 가깝게 유지하면서 미생물을 저해할 수 있는 공정으로 보고되고 있다(12). DHP 처리 중 투입된 시료는 챔버의 좁은 통로를 통과하는 동안 압력 변화, 공동작용(cavitation), 높은 전단응력 등의 물리적 작용을 받게 되고(13,14), 식품 내 존재하는 미생물들은 이러한 작용에 의해 세포벽이 붕괴되어 사멸되게 된다(15).

DHP를 통해 150 MPa 압력과 3 패스 처리 조건으로 파인애플 주스와 레드오렌지 주스에 접종된 *Saccharomyces cerevisiae*를 6 log CFU/mL 이상 저해 시켰고, 같은 조건으로 사과 주스를 DHP 처리한 후 4°C에 저장하였을 때 사과 주스의 저장 기간을 증대시켰다는 보고가 있었다(16). Belloch 등(17)의 연구에 의하면 DHP를 통해 110 또는 150 MPa 압력의 처리 조건으로 오렌지 주스(20°C)에 접종된 *Listeria innocua*를 5 log CFU/mL 이상 저해 시켰다고 보고 하였고, Moroni 등(18)은 DHP를 통해 200 MPa 압력의 처리 조건으로 phosphate 완충 saline 용액에 접종된 bacteriophage (c2 phage)를 99.999% 이상 저해시켰다고 보고하였다.

국내 소비자가 주스를 구매할 때 우선 고려하는 사항으로는 맛의 비중이 가장 높았고 그 외에 상표, 신선도, 그리고 영양성분 순이었다(19). DHP는 주스 고유의 영양과 색을 최대한 보존하면서 미생물 안전성을 높여 줄 수 있기 때문에(12), 소비자의 만족도가 높은 딸기 주스를 제작하는데 살균 방법으로 적용될 수 있을 것이다. 본 연구의 목적은 DHP 처리(단독 또는 열병합)와 기

*Corresponding author: Sea Cheol Min, Department of Food Science and Technology, Seoul Women's University, 623 Hwarangno, Nowongu, Seoul 01797, Korea
Tel: +82-2-970-5635
Fax: +82-2-970-5977
E-mail: smin@swu.ac.kr
Received June 24, 2015; revised July 18, 2015;
accepted July 19, 2015

존 가열처리 공정의 딸기 주스에 존재하는 증온 도착 미생물에 대한 저해 효과와 4°C 저장 중 딸기 주스의 미생물 안정성, 비타민 C, 색도, 당도, pH에 대한 영향을 측정하고 비교하는 것이었다.

재료 및 방법

재료

딸기 주스(100% Fresh Fruit Juice, All Fresh, Seoul, Korea)는 선행 품종의 딸기를 착즙 처리하여 제조되었다. 딸기 주스를 DHP 처리와 가열처리 전에 멸균한 거즈로 씨를 제거시켜 4°C에서 저장하였다.

DHP 장비

DHP 처리에 사용된 장비(D.O.S. Inc., Siheung, Korea)는 크게 구동부(너비×직경×높이: 0.8×0.65×0.25 m)와 유압 펌프부(너비×직경×높이: 0.7×0.6×1.2 m)로 구분되어 있다. 구동부는 유압식 실린더, 챔버, 냉각기, 주입탱크, 그리고 programmable logic controller (PLC) 조정장치로 구성되고 챔버의 내부는 Z 형태이며 다이아몬드로 코팅되어 있다(14). 주스의 주입온도는 주입탱크에 장착된 가열판 열교환기(Woori Tech, Seoul, Korea)를 이용하여 50, 60, 70°C로 조절되었다. 50, 60, 70°C로 가열할 시료들은 35°C까지(1.5 분) 향온수조를 이용하여 선 가열하였다. 가열판 열교환기가 장착된 주입탱크에서 50, 60, 70°C로 시료가 가열되는 데까지는 각각 4, 8, 13분이 소요되었다. 주스의 장비 배출온도는 냉각수를 이용하는 열교환기(D.O.S. Inc.)를 통해 조절되었고, 열처리 시료와 병합처리된 모든 시료들의 배출온도는 8.0±0.6°C이었다.

토착 미생물 저해 실험

가열처리와 DHP 처리를 통해 딸기 주스 내 존재한 토착 미생물이 얼마나 저해되는가를 측정하였다. 딸기 주스를 가열처리와 DHP 처리하기 전에 37°C의 배양기(VS-1203P1, Vision Scientific Co., Bucheon, Korea)에서 이틀간 방치하여 7.3-7.8 log CFU/mL의 토착 미생물을 가진 딸기 주스를 준비하였다. 일반 가열처리에 의한 토착 미생물의 저해 효과를 알아보기 위해서 고압증기 멸균기(JSAC-60, JS Research Inc., Gongju, Korea)를 이용해 딸기 주스를 110°C에서 1분간 처리 하였다(20). 단독 DHP 처리에 의한 딸기 주스의 토착 미생물 저해 효과를 알아보는 실험에서는 205 MPa의 압력으로 1, 2, 3 패스 처리하였다. 이때 DHP 처리 시스템 내로의 주스 주입온도는 20°C이었다. 열처리와 병합된 DHP 처리의 효과를 알아보는 실험에서는 주스 주입온도를 상기 기술된 방법에 따라 50, 60, 70°C로 맞추었고, DHP 처리 시스템 내로 유입된 주스는 205 MPa 압력에서 1, 2, 그리고 3 패스 DHP 처리되었다. 열처리와 병합된 DHP 처리에서 DHP 처리 효과를 제외한 열처리만의 효과를 알아보기 위해서 시료 온도를 20, 50, 60, 70°C로 맞춰준 후 압력 처리 없이 DHP 처리 때와 같은 속도로 3 패스 처리하였다.

단독 DHP 또는 열병합된 DHP와 가열처리 한 딸기 주스는 멸균한 0.1% peptone water로 희석한 후 plate count ager (PCA)와 plate dextrose ager (PDA)배지에 평판도말 하여 각각 증온 호기성 미생물과 호모 및 곰팡이를 계수하였다. PCA 배지는 37°C에서 48시간 동안 배양 하였고, PDA 배지는 25°C에서 3일간 배양 하였다. PCA, PDA, 그리고 peptone water 모두 Difco Co. (Detroit, MI, USA)에서 구매하였다.

저장 실험

단독 DHP 처리, 열병합된 DHP 처리, 그리고 일반 가열처리 한 딸기 주스를 50-mL 멸균된 폴리프로필렌 튜브(Corning, Acton, MA, USA)에 공기 층이 최소가 되도록 충전한 후 4°C에서 저장 하면서 저장 0, 7, 14, 21, 28, 35, 49, 63일 차에 미생물 안정성, 비타민 C, 색도, 당도, pH를 측정하고 비교하였다. 가열처리는 토착 미생물 저해 실험에서 사용한 조건과 동일한 조건에서 이루어졌고, 단독 DHP 처리는 주스(주입온도 20°C)를 205 MPa 압력으로 3 패스 처리하여 이루어졌다. 열처리와 병합된 DHP 처리는 70°C를 주입온도로 하여 205 MPa 압력에서 3 패스 처리를 통해 수행되었다.

미생물 저장 안정성

저장 중 딸기 주스 내 존재하는 호기성 미생물과 호모 및 곰팡이를 계수하여 미생물 저장 안정성을 확인하였고, 호기성 미생물과 호모 및 곰팡이 수는 ‘토착 미생물 저해 실험’에서 설명된 방법과 동일하게 각각 PCA와 PDA 배지에 평판도말하여 결정되었다.

비타민 C 측정

비타민 C는 high-performance liquid chromatography (HPLC, Agilent 1100 series, Agilent Technologies, CA, USA)를 이용하여 Kim 등(21)의 방법으로 측정하였다. 딸기 주스를 원심분리기(Supra 22K, Hanil Science Industrial, Incheon, Korea)를 이용하여 22°C에서 10분간 12,500×g로 원심분리한 후에 상층액을 0.45 µm filter (Whatman 6750-2504 syringe filter, Piscataway, NJ, USA)로 여과하여 분석 시료로 사용하였다. 일정 속도(0.6 mL/min)로 흐르는 5 mM tetrabutylammonium phosphate:acetonitrile (75:25 v/v) 이동상에 20 µL 분석 시료를 주입하여 254 nm의 파장에서 UV-Vis detector (G1315B, Agilent Technologies)로 분석하였다. 비타민 C 측정에 사용된 Symmetry® C18 (5 µm, 4.6 mm×250 mm I.D, Waters Co., MA, USA) column은 column oven (G1316A, Agilent Technologies)을 이용하여 23±2°C의 온도로 유지했다. 표준 곡선을 만드는 데 사용한 비타민 C는 Sigma Chemical Co. (St. Louis, MO, USA)에서 구매하였다.

색도 측정

3 mL의 딸기 주스를 채운 petri dish를 표준 백색판(Calibration Plate CR-400)위에 올리고 색차계(Minolta Chroma Meter CR-400, Minolta Camera Co., Osaka, Japan)를 이용하여 주스의 Hunter L (lightness), a (redness), 그리고 b (yellowness)값을 측정하였다. 색차계 측정에는 D65와 10°가 사용되었고, 측정된 딸기 주스의 색도는 밝기(L)와 색상각(arctangent $ba^*/57.3$, hue angle (θ))(9)으로 나타내었다.

당도 및 pH 측정

당도는 휴대용 디지털 당도계(PAL-1, ATAGO, Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였고, pH는 pH meter (FiveEasy™ Plus, Mettler Toledo, Schwerzenbach, Switzerland)를 이용하여 측정하였다.

통계 분석

단독 DHP 처리, 열병합된 DHP 처리, 또는 가열처리 한 딸기 주스의 미생물 저해와 저장 중 미생물 안정성, 비타민 C, 색도, 당도, pH 측정 실험은 2회 반복되었고 1회의 반복마다 4회씩 측

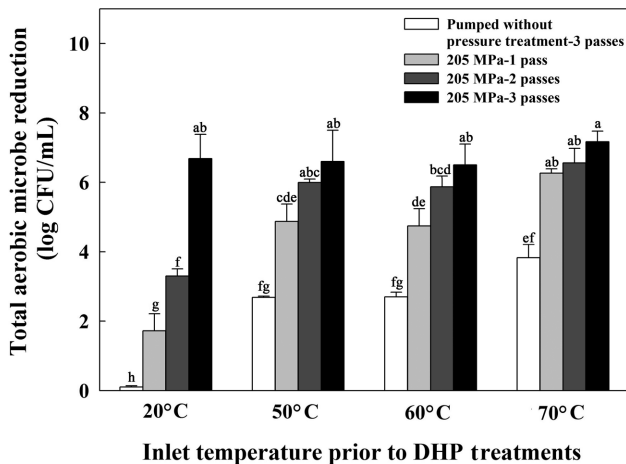


Fig. 1. Effects of the dynamic high pressure (DHP) treatments and the conventional heating on the inhibition of total aerobic microbe in strawberry juice. Different letters on the top of each column indicate the differences at the significant level of 0.05.

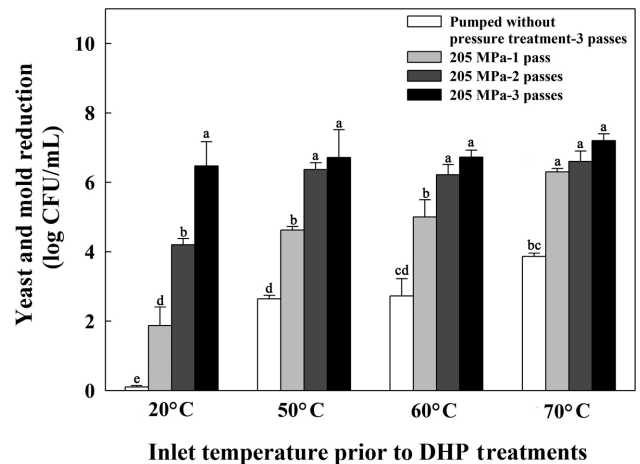


Fig. 2. Effects of the dynamic high pressure (DHP) treatments and the conventional heating on the inhibition of yeast and mold in strawberry juice. Different letters on the top of each column indicate the differences at the significant level of 0.05.

정이 이루어졌다. 각 표본 평균값의 차이를 SPSS (SPSS Inc., Ver. 20 Chicago, IL, USA)를 이용해 분산분석법(Analysis of variance, ANOVA)으로 분석하였고, 유의차가 있는 경우 Tukey 다중범위 검증을 실시하였다($\alpha=0.05$).

결과 및 고찰

토착 미생물 저해 실험

기존의 가열처리는 딸기 주스의 토착 호기성 미생물과 효모 및 곰팡이를 모두 7 log CFU/mL 이상 저해시켰다(최소검출한계: 10 CFU/mL). 딸기 주스를 20°C의 투입온도에서 압력처리 없이 단순히 DHP 처리 장비로 1, 2, 3 패스 통과 시켰을 때 주스 내 미생물 수는 패스 수와 상관없이 초기 미생물 수와 유의적으로 차이가 나지 않았다($p>0.05$) (데이터 미포함). 이것은 DHP 처리 장비로 주스를 통과시키는 것 자체는 미생물을 저해시키지 않음을 의미한다. 압력처리 없이 주스를 장비로 통과시킬 때 패스 수가 미생물 저해에 영향을 미치지 않는 것은 50, 60, 70°C에서도 보여졌다. 각각의 온도에서의 미생물 수는 패스 수와 상관없이 5.1 ± 0.1 , 5.0 ± 0.2 , 3.9 ± 0.1 CFU/mL이었다.

단독 DHP 처리와 열병합된 DHP 처리의 딸기 주스 내 토착 호기성 미생물과 효모 및 곰팡이 저해에 대한 영향을 각각 Fig. 1과 2에 나타내었다. 단독 DHP 처리를 통해 딸기 주스를 20°C의 투입온도에서 205 MPa 압력으로 3 패스 처리하였을 때 호기성 미생물과 효모 및 곰팡이의 저해 수준은 각각 6.6 ± 0.7 log CFU/mL과 6.5 ± 0.7 log CFU/mL이었고, 이것은 DHP 단독처리가 기존의 가열처리 보다 딸기 주스의 호기성 미생물과 효모 및 곰팡이를 저해시키는데 상대적으로 효과가 낮음을 보여주는 결과이다. 단독 DHP 처리를 통해 20°C의 투입온도와 205 MPa 압력에서 1, 2, 3 패스로 딸기 주스를 처리 하였을 때, 대체적으로 패스 횟수가 많아질수록 미생물 저해 정도가 높아짐을 알 수 있었다(Fig. 1, 2). Maresca 등(16)도 DHP를 통해 50, 100, 150 MPa 압력 처리 조건에서 파인애플 주스, 레드 오렌지 주스, 그리고 오렌지 주스에 접종된 *S. cerevisiae*를 처리하였을 때, 각각의 압력에서 패스 횟수가 증가할수록 미생물 저해 정도가 증가하였다고 보고하였다. 패스 횟수의 증가에 따른 처리 시간의 증가로 인해

미생물의 저감화 정도가 증가했음을 알 수 있었다.

딸기 주스를 205 MPa 압력에서 1 패스 또는 2 패스 처리 할 때 주스의 투입온도가 20°C에서 70°C로 증가할 경우 미생물 저해 정도가 유의적으로 증가하는 것을 알 수 있었다($p<0.05$) (Fig. 1, 2). 딸기 주스를 단독 DHP 처리를 통해 20°C의 투입온도에서 205 MPa 압력으로 1 패스 처리하였을 때와 열병합된 DHP 처리를 통해 50 또는 70°C의 투입온도에서 205 MPa 압력으로 1 패스 처리하였을 경우를 비교하였을 때, 호기성미생물 저해 정도가 3.1과 4.5 log CFU/mL로 각각 증가하였고($p<0.05$), 효모 및 곰팡이 저해 정도도 2.8과 4.5 log CFU/mL로 각각 증가하였다($p<0.05$) (Fig. 1, 2). 이를 통해 시료 투입 온도가 열병합된 DHP 처리의 미생물 저해 효과를 결정하는 주요 요인임을 알 수 있었다. 3 패스 처리의 경우에는 20°C에서도 충분히 많은 저해가 일어났기 때문에 투입 온도에 의한 미생물 저해 효과를 확인 할 수 없었다 (Fig. 1, 2). 70°C를 투입온도로 하여 205 MPa 압력에서 3 패스 처리하였을 경우 일반 가열처리와 유사한 7 log CFU/mL 이상의 토착 미생물 저해를 보였다(최소검출한계: 10 CFU/mL). 열병합된 DHP처리가 미생물 저해에 효과적이라는 것은 다음의 연구들에도 보고되었다. DHP를 통해 5-50°C의 투입온도와 100-300 MPa 압력을 처리 조건으로 하여 phosphate 완충 saline 용액에 접종된 *Staphylococcus aureus*, *Yersinia enterocolitica*, *Escherichia coli* MG1655를 처리 하였을 때, 50°C의 투입온도에서 300 MPa 압력으로 DHP 처리한 시료가 가장 높은 미생물 저해를 보였고(22,23), 두유를 55, 65, 75°C의 투입온도와 200 또는 300 MPa 압력에서 DHP 처리하였을 때, 75°C 온도와 300 MPa 압력이 가장 높은 미생물 저해를 보였고(24).

열처리와 병합된 DHP 처리는 미생물 저해에 있어 상승효과를 보여주었다. 70°C DHP 처리(205 MPa, 1 패스) (병합처리)에 의한 호기성 미생물 저해 정도(6.3 ± 0.1 log CFU/mL)는 70°C에서 압력처리가 이루어지지 않은 처리로부터의 호기성 미생물 저해 정도(3.8 ± 0.4 log CFU/mL)와 단독 DHP 처리(205 MPa, 1패스)로부터의 저해 정도(1.7 ± 0.5 log CFU/mL)의 합(~ 5.5 log CFU/mL)보다 컸다(Fig. 1). 유사한 결과가 효모 및 곰팡이 저해에서도 보였다(Fig. 2). 단독 DHP 처리에 비해 열병합된 DHP 처리의 미생물 저해가 효과적인 이유는 먼저 열에 노출되면서 세포벽과 내

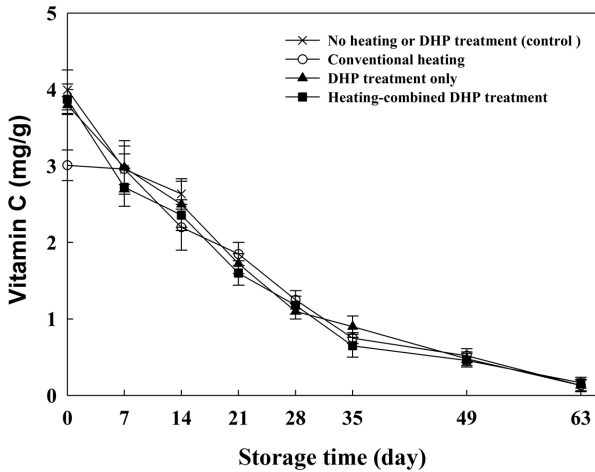


Fig. 3. Effects of the dynamic high pressure (DHP) treatments and the conventional heating on the vitamin C in strawberry juice during storage at 4°C for 63 days. DHP treatment pressure and pass number were 205 MPa and 3 cycles, respectively. Temperatures for DHP treatment only and heating-combined DHP treatment were 20 and 70°C, respectively. Conventional heating temperature and time were 110°C and 1 min, respectively.

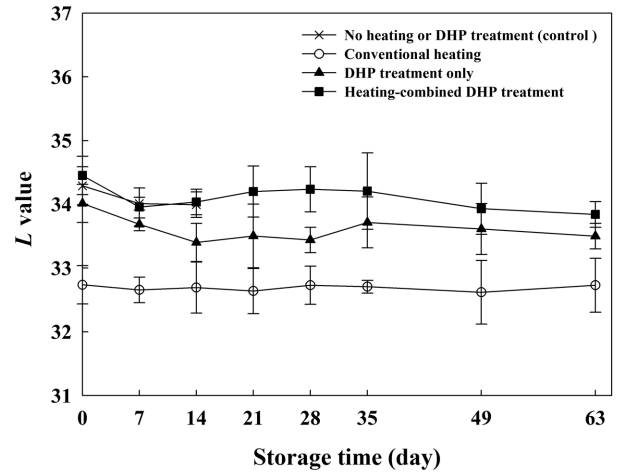


Fig. 4. Effects of the dynamic high pressure (DHP) treatments and the conventional heating on L value of strawberry juice during storage at 4°C for 63 days. DHP treatment pressure and pass number were 205 MPa and 3 cycles, respectively. Temperatures for DHP treatment only and heating-combined DHP treatment were 20 and 70°C, respectively. Conventional heating temperature and time were 110°C and 1 min, respectively.

부에 변성이 일어나 손상된 미생물들이(25) 압력에 대한 저항성이 낮아져 DHP 처리의 물리적 작용(26)에 더 취약해졌기 때문으로 생각된다.

미생물 저장 안정성, 저장실험

단독 DHP 처리, 열병합된 DHP 처리, 그리고 가열처리의 저장 중 딸기 주스의 호기성 미생물과 효모 및 곰팡이의 수에 대한 영향을 Table 1에 나타내었다. 앞서 ‘토착 미생물 저해 실험’에서 보인 결과와 같이 열병합된 DHP와 가열처리는 단독 DHP 처리보다 주스의 토착 미생물 저해도가 높았다(Table 1). 그러나 저장 14일 차에 아무 처리도 하지 않은 신선 딸기 주스의 호기성 미생물과 효모 및 곰팡이의 수가 각각 5.0 log CFU/mL과 5.9 log CFU/mL인 반면 63일차의 단독 DHP 처리 한 딸기 주스의 호기성 미생물과 효모 및 곰팡이의 수는 각각 2.8 log CFU/mL과 2.7 log CFU/mL로서 신선 딸기 주스보다 높은 미생물 저장 안정성을

을 보여주었다(Table 1). Maresca 등(16)은 150 MPa-3 패스-DHP 처리가 사과 주스의 4°C 저장 중 미생물 안정성을 향상시켰다고 보고하면서 이것은 DHP 처리가 미생물의 세포를 손상시켜 냉장 환경에서 증식하는 기능을 잃어버리게 했기 때문이라고 설명하였다. DHP 처리(100 MPa, 8 패스)를 통한 살균 주스와 당근 주스의 4°C 저장 중 미생물 안정성 향상도 보고 되었다(12). DHP 처리 기술은 주스 제품을 생산하는데 적용될 새로운 주스 살균 기술로서 높은 가능성이 있다고 생각된다.

비타민 C

단독 DHP 처리, 열병합된 DHP 처리, 그리고 일반 가열처리의 저장 중 딸기 주스의 비타민 C 농도에 대한 영향을 Fig. 3에 나타내었다. 처리 직후(저장 0일) 가열처리한 주스의 비타민 C 함량이 신선 딸기 주스에 비해 25% 감소한 반면($p < 0.05$), 신선 딸

Table 1. Effects of the dynamic high pressure (DHP) treatments¹⁾ and the conventional heating²⁾ on the total aerobic plate counts and the yeast and mold counts of strawberry juice during storage at 4°C for 63 days

Storage time (day)	Total aerobic plate counts (log CFU/mL)				Yeast and mold counts (log CFU/mL)			
	Control	Conventional heating	DHP treatment only	Heating-combined DHP treatment	Control	Conventional heating	DHP treatment only	Heating-combined DHP treatment
0	4.1	<1	1.1	<1	4.8	<1	1.0	<1
7	4.5	<1	1.2	<1	5.3	<1	1.2	<1
14	5.0	<1	1.4	<1	5.9	<1	1.2	<1
21	³⁾ ND	<1	1.5	<1	ND	<1	1.3	<1
28	ND	<1	2.1	<1	ND	<1	2.0	<1
35	ND	<1	2.3	<1	ND	<1	2.3	<1
49	ND	<1	2.6	<1	ND	<1	2.5	<1
63	ND	<1	2.8	<1	ND	<1	2.7	<1

¹⁾DHP treatment pressure and pass number were 205 MPa and 3 cycles, respectively. Temperatures for DHP treatment only and heating-combined DHP treatment were 20 and 70°C, respectively.
²⁾Conventional heating temperature and time were 110°C and 1 min, respectively.
³⁾Not determined.

Table 2. Effects of the dynamic high pressure (DHP) treatments¹⁾ and the conventional heating²⁾ on hue angle (θ) value in strawberry juice during storage at 4°C for 63 days

Storage time (day)	Hue angle (θ)			
	Control	Conventional heating	DHP only treatment	Heating-combined DHP treatment
0	³⁾ 88.4 ^b	88.6 ^a	88.4 ^b	88.4 ^b
7	88.4 ^b	88.6 ^a	88.3 ^b	88.4 ^b
14	88.4 ^b	88.7 ^a	88.3 ^b	88.4 ^b
21	⁴⁾ ND	88.7 ^a	88.3 ^b	88.3 ^b
28	ND	88.7 ^a	88.4 ^b	88.4 ^b
35	ND	88.8 ^a	88.3 ^b	88.4 ^b
49	ND	88.7 ^a	88.4 ^b	88.5 ^b
63	ND	88.8 ^a	88.4 ^b	88.4 ^b

¹⁾DHP treatment pressure and pass number were 205 MPa and 3 cycles, respectively. Temperatures for DHP treatment only and heating-combined DHP treatment were 20 and 70°C, respectively.

²⁾Conventional heating temperature and time were 110°C and 1 min, respectively.

³⁾Values with different letter superscripts are significantly different each other at $p < 0.05$.

⁴⁾Not determined.

기 주스와 단독 DHP 또는 열병합된 DHP 처리 한 딸기 주스의 비타민 C 농도는 유의적으로 차이가 없었다($p > 0.05$) (Fig. 3). 식품 내 비타민 C 감소는 공정 중 열 유입 정도가 클수록 높다(27,28). 단독 DHP 처리와 열병합된 DHP 처리는 가열처리에 비해 낮은 온도로 딸기 주스를 처리하기 때문에 주스의 비타민 C 농도 변화가 최소화 된 것으로 판단되었다. 유사한 결과가 Tribst 등(29)에 의해 보고되었는데, 200 MPa-DHP 처리된 망고 넥타가 100°C에서 10분 가열처리된 망고 넥타보다 비타민 C 함량이 유의적으로 높았다.

하지만 저장 중 비타민 C 농도는 시료 별로 서로 다르지 않아($p > 0.05$), 단독 DHP 또는 열병합된 DHP 처리 주스의 초기 높은 비타민 C 농도가 저장 중 유지되지 않음을 알 수 있었다. 본 연구에서 주스 시료들을 단순히 폴리프로필렌 튜브에 충전하여 저장하였는데, 저장 중 산화가 최소화가 될 수 있는 포장 방법을 적용한다면 DHP 처리 주스의 초기 높은 비타민 C 함량이 저장 중 오래 유지되게 할 수 있을 것으로 생각된다.

색도

단독 DHP 처리, 열병합된 DHP 처리, 그리고 가열처리의 저장 중 딸기 주스의 밝기와 색상각에 대한 영향을 각각 Fig. 4와 Table 2에 나타내었다. 저장 0일의 신선 딸기 주스와 단독 DHP 처리 또는 열병합된 DHP 처리 된 딸기 주스의 밝기와 색상각은 유의적으로 차이가 나지 않았다($p > 0.05$) (Fig. 4) (Table 2). 반면에 가열처리된 딸기 주스는 신선 딸기 주스와 비교하여 밝기(L)가 낮아지고 더 높은 황색도(색상각)를 띠는 것을 알 수 있었다($p < 0.05$) (Fig. 4) (Table 2). 저장기간 동안 가열처리 한 딸기 주스는 점차 황색도가 높아졌지만 단독 DHP 처리 또는 열병합된 DHP 처리 한 딸기 주스는 그렇지 않았으며 가열처리한 딸기 주스와 비교하여 높은 밝기를 보여주었다(Fig. 4) (Table 2). 과일 주스를 가공 할 때 색도에 영향을 주는 요인들 중 열은 주스의 카보닐 화합물과 아미노산을 반응시켜 갈변반응이 일어나게 한다(30). 가열처리한 딸기에서 밝기가 감소하고 황색도가 증가하는 것은 열처리로 인해 딸기주스에 갈변반응이 일어났기 때문으로 판단되었다.

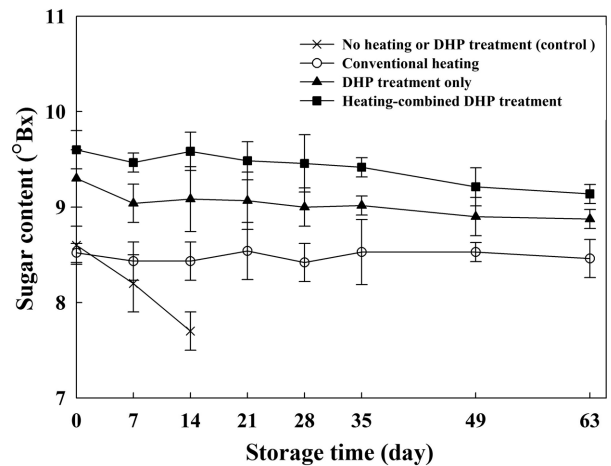


Fig. 5. Effects of the dynamic high pressure (DHP) treatments and the conventional heating on sugar content in strawberry juice during storage at 4°C for 63 days. DHP treatment pressure and pass number were 205 MPa and 3 cycles, respectively. Temperatures for DHP treatment only and heating-combined DHP treatment were 20 and 70°C, respectively. Conventional heating temperature and time were 110°C and 1 min, respectively.

당도 및 pH

단독 DHP 처리, 열병합된 DHP 처리, 그리고 가열처리의 저장 중 딸기 주스의 당도에 대한 영향을 Fig. 5에 나타내었다. 처리 직후(저장 0일) 단독 DHP 처리 딸기 주스와 열병합된 DHP 처리 주스의 당도(각각 9.3±0.3과 9.6±0.2°Bx)는 신선 딸기의 당도(8.6±0.2°Bx) 보다 높아($p < 0.05$) (Fig. 5) DHP 처리가 주스의 당도를 높였음을 알 수 있었다. Villay 등(31)도 구아검, 하이드록시에틸셀룰로오스, 카르복시메틸셀룰로오스나트륨, 알긴산나트륨, 또는 아라비아검 수용액을 각각 DHP 처리하였을 때 당도가 증가하였음을 보고하였는데, 이는 DHP 처리에 의한 다당류 붕괴 때문으로 설명되었다. 본 연구에서는 딸기 주스 내 펙틴과 같은 다당류가 DHP 처리에 의해 저분자의 가용성 당들로 변환되어 당도가 높아졌을 것으로 판단되었다(4). 신선 딸기 주스의 당도는 14일의 저장 기간 동안 8.6±0.2°Bx에서 7.7±0.2°Bx로 유의적으로 감소 하였다($p < 0.05$) (Fig. 5). 반면 DHP 처리(단독 DHP 처리 및 열병합된 DHP 처리)된 주스의 당도는 63일의 저장 기간 동안 신선 딸기 주스와 가열처리된 딸기 주스의 당도보다 높은 값을 보여 주며 그 값을 유지시켰다($p > 0.05$) (Fig. 5). 저장 중 당도 분석 결과는 DHP 처리를 이용하여 당도가 높은 딸기 주스를 생산할 수 있음을 보여주었다.

신선 딸기 주스, 열처리 주스, 단독 DHP 처리 주스, 그리고 열병합된 DHP 처리 주스의 pH는 저장 중 각각 3.8±0.2, 3.7±0.1, 3.7±0.2, 그리고 3.7±0.2이었으며 그 값이 처리 방법과 저장에 의해 유의적으로 변하지 않음을 알 수 있었다($p > 0.05$).

요 약

딸기 주스에 단독 DHP 처리 또는 열처리와 병합된 DHP 처리를 하였을 경우 6 log CFU/mL 이상의 토착 미생물 저해를 보여주었다. 단독 DHP 처리와 열병합된 DHP 처리는 딸기 주스의 비타민 C와 색도에 영향을 주지 않으면서 당도를 상승시켰고 4°C 저장 중 색도와 당도를 유지시켰다. 특히 열병합된 DHP 처리는 저장 중 일반 가열처리와 유사한 미생물 안정성을 보이면서도 가

열처리 보다 높은 비타민 C 함량과 색상 안정성을 보여주었다. 따라서 DHP 처리(단독 또는 열병합)는 딸기 주스의 품질 변화를 최소화 시키면서 미생물 저장 안정성을 높일 수 있는 최신 살균 공정으로 적용될 수 있을 것으로 판단되었다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호: PJ101091903)의 지원에 의해 이루어진 것임.

References

1. Choi SG. A study on purchasing attributes and marketing strategy of non-heated fruit juices. MS thesis, Konkuk University, Seoul, Korea (2011)
2. Kim HY, Kim MJ, Woo EY. Physicochemical and sensory properties of freshly squeezed orange juice using domestic and imported oranges. *J. Korean Soc. Food Cult.* 15: 189-194 (2000)
3. Giampieri F, Tulipani S, Alvarez-Suarez JM, Quiles JL, Mezzetti B, Battino M. The strawberry: Composition, nutritional quality, and impact on human health. *Nutrition* 28: 9-19 (2012)
4. Caner C, Aday MS, Demir M. Extending the quality of fresh strawberries by equilibrium modified atmosphere packaging. *Eur. Food Res. Technol.* 227: 1575-1583 (2008)
5. Sohn KS, Seog EJ, Lee JH. Quality characteristics of clarified apple juices produced by various methods. *Korean J. Food Preserv.* 13: 138-143 (2006)
6. Lee BH, Kim SY, Cho CH, Chung DK, Chun OK, Kim DO. Estimation of daily per capita intake of total phenolics, total flavonoids, and antioxidant capacities from fruit and vegetable juices in the Korean diet based on the Korea national health and nutrition examination survey 2008. *Korean J. Food Sci. Technol.* 43: 475-482 (2011)
7. Yu K, Newman MC, Archbold DD, Hamilton-Kemp TR. Survival of *Escherichia coli* O157:H7 on strawberry fruit and reduction of the pathogen population by chemical agents. *J. Food protect.* 64: 1334-1340 (2001)
8. Knudsen DM, Yamamoto SA, Harris LJ. Survival of *Salmonella* spp. and *Escherichia coli* O157:H7 on fresh and frozen strawberries. *J. Food protect.* 64: 1483-1488 (2001)
9. Min S, Jin ZT, Min SK, Yeom H, Zhang QH. Commercial-scale pulsed electric field processing of orange juice. *J. Food Sci.* 68: 1265-1271 (2003)
10. Sancho F, Lambert Y, Demazeau G, Largeteau A, Bouvier JM, Narbonne JF. Effect of ultra-high hydrostatic pressure on hydro-soluble vitamins. *J. Food Eng.* 39: 247-253 (1999)
11. Rattanathanalerk M, Chiewchan N, Srichumpoung W. Effect of thermal processing on the quality loss of pineapple juice. *J. Food Eng.* 66: 259-265 (2005)
12. Patrignani F, Yannini L, Kamdem SLS, Lanciotti R, Guerzoni ME. Effect of high pressure homogenization on *Saccharomyces cerevisiae* inactivation and physico-chemical features in apricot and carrot juices. *Int. J. Food Microbiol.* 136: 26-31 (2009)
13. Lacroix N, Fliss I, Makhoulouf J. Inactivation of pectin methyl-esterase and stabilization of opalescence in orange juice by dynamic high pressure. *Food Res. Int.* 38: 569-576 (2005)
14. Lee HN, Min SC. Development of hijiki-based edible films using high-pressure homogenization. *Korean J. Food Sci. Technol.* 44: 162-167 (2012)
15. Dumay E, Chevalier-Lucia D, Picart-Palmade L, Benzaria A, Gràcia-Julià A, Blayo C. Technological aspects and potential applications of (ultra) high-pressure homogenisation. *Trends Food Sci. Tech.* 31: 13-26 (2013)
16. Maresca P, Donsi F, Ferrari G. Application of a multi-pass high-pressure homogenization treatment for the pasteurization of fruit juices. *J. Food Eng.* 104: 364-372 (2011)
17. Belloch C, Gurrea MC, Tàrrega A, Sampedro F, Carbonell JV. Inactivation of microorganisms in orange juice by high-pressure homogenization combined with its inherent heating effect. *Eur. Food Res. Technol.* 234: 753-760 (2012)
18. Moroni O, Jean J, Autret J, Fliss I. Inactivation of lactococcal bacteriophages in liquid media using dynamic high pressure. *Int. Dairy J.* 12: 907-913 (2002)
19. Kim SY, Lee JH, Choi JH. Consumers purchasing patterns and preferences of the processed food products made from domestic ingredients. *Korean J. Food Market Econ.* 27: 1-17 (2010)
20. Aramdeuri Strawberry Juice. Personal Communication. Agricultural Company Aramfarm, Chungnam, Yesan, Korea (2015)
21. Kim SL, Kim SK, Park CH. Introduction and nutritional evaluation of buckwheat sprouts as a new vegetable. *Food Res. Int.* 37: 319-327 (2004)
22. Diels AM, Callewaert L, Wuytack EY, Masschalck B, Michiels CW. Moderate temperatures affect *Escherichia coli* inactivation by high-pressure homogenization only through fluid viscosity. *Biotechnol. Prog.* 20: 1512-1517 (2004)
23. Diels AMJ, Wuytack EY, Michiels CW. Modelling inactivation of *Staphylococcus aureus* and *Yersinia enterocolitica* by high-pressure homogenisation at different temperatures. *Int. J. Food Microbiol.* 87: 55-62 (2003)
24. Polisel-Scopel FH, Hernández-Herrero M, Guamis B, Ferragut V. Comparison of ultra high pressure homogenization and conventional thermal treatments on the microbiological, physical and chemical quality of soymilk. *LWT-Food Sci. Technol.* 46: 42-48 (2012)
25. Pflug IJ, Holcomb RG, Gómez MM. Principles of the thermal destruction of microorganisms. pp. 79-127. In: *Disinfection, Sterilization, and Preservation*. Block SS (ed). Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, PA, USA (2001)
26. Diels AMJ, Callewaert L, Wuytack EY, Masschalck B, Michiels CW. Inactivation of *Escherichia coli* by high-pressure homogenization is influenced by fluid viscosity but not by water activity and product composition. *Int. J. Food Microbiol.* 101: 281-291 (2005)
27. Ekasari I, Jongen WMF, Vermunt AEM, Pilnik W. Measurement of heat load in orange juices: Use of microbiological methods. *Food Technol.* 45: 124-128 (1988)
28. Saguy I, Kopelman IJ, Mizrahi S. Simulation of ascorbic acid stability during heat processing and concentration of grapefruit juice. *J. Food Process Eng.* 2: 213-225 (1978)
29. Tribst AAL, Franchi MA, de Massaguer PR, Cristianini M. Quality of mango nectar processed by high-pressure homogenization with optimized heat treatment. *J. Food Sci.* 76: M106-M110 (2011)
30. del Castillo MD, Corzo N, Olano A. Early stages of maillard reaction in dehydrated orange juice. *J. Agr. Food Chem.* 47: 4388-4390 (1999)
31. Villay A, de Filippis FL, Picton L, Le Cerf D, Vial C, Michaud P. Comparison of polysaccharide degradations by dynamic high-pressure homogenization. *Food Hydrocolloid.* 27: 278-286 (2012)